

西藏伦坡拉盆地古近系油藏成藏机理及有利区带预测

范小军,潘磊,李凤,李吉选,厚东琳,郝景宇

(中国石化勘探分公司,四川 成都 610041)

摘要:西藏伦坡拉盆地古近系始新统牛堡组-渐新统丁青湖组的早期勘探发现了良好的油气,展示了较好的勘探潜力,但单井测试多为低产,分析认为成藏机理及主控因素认识不够制约了早期勘探。为弄清伦坡拉盆地古近系油藏成藏机理,明确有利区带,通过地质与物探联合分析,认为伦坡拉盆地具有多套扇三角洲前缘砂岩体目的层系、有利生储盖组合、继承性古隆起(古斜坡)、立体输导体系、构造与成藏匹配好等有利成藏条件。油藏具“近源聚集、多期成藏、中浅层晚期破坏、中深层原地富集”成藏富集规律,评价落实了6个有利勘探区带,采用有机碳法计算资源量达数亿吨,资源丰度较高,具有形成中型油田的资源潜力,其中长山岩性区带成藏条件优越,估算资源量上亿吨,同时该区正好是丁青湖组中下部油页岩发育区,采用体积丰度法计算出其资源量3倍于常规资源量。总体上长山岩性区带为常规与非常规有利油气勘探区的叠合部位,展现出广阔的勘探前景。

关键词:成藏条件;成藏机理;有利区带;古近系;伦坡拉盆地

中图分类号:TE132

文献标识码:A

Hydrocarbon accumulation mechanism and play fairways
of the Paleogene in Lunpola Basin, Tibet

Fan Xiaojun, Pan Lei, Li Feng, Li Jixuan, Hou Donglin, Hao Jingyu

(SINOPEC Exploration Company, Chengdu, Sichuan 610041, China)

Abstract: Early exploration in Lunpola Basin shows a good exploration potential within the Paleogene Eocene Niubao and Dingqinghu Formations. However, most of the single well test results are low. The poor understanding of hydrocarbon accumulation mechanisms and their main controlling factors affects the early exploration. In order to clarify the accumulation mechanisms and predict play fairways, a comprehensive study was performed by integrating the geological and geophysical data. It is believed that Lunpola Basin has many good reservoir forming conditions such as multiple sets of fan delta front sandstone systems, favorable source-reservoir-cap rock assemblage, inherited palaeohigh (ancient slope), stereoscopic carrier systems and good timing of structure and hydrocarbon accumulation. Hydrocarbon accumulation in Lunpola Basin features in close proximity to the source rocks, multi periods of charging, damage of reservoirs with mid-shallow depth in late stage, in-situ enrichment of hydrocarbons in middle-deep layers. Six play fairways are identified in Lunpola Basin, their resource potential is estimated to be up to several hundred million tons based on calculation with the organic carbon method, and the resource abundance is relatively high, thus it has the potential to form mid-sized oil field. Especially, the Changshan lithologic play has very favorable reservoir forming conditions and its resource potential is estimated to be up to 100 million tons. In addition, the oil shale is developed in the middle and lower Dingqinghu Formation within the play and its resource volume is three times as large as that of the conventional resources based on calculation with volume abundance method. As a whole, conventional and unconventional plays overlap in the Changshan lithologic zone, thus its exploration potential is huge.

Key words: reservoir forming condition, accumulation mechanism, play fairway, Paleogene, Lunpola Basin

西藏伦坡拉盆地地理位置主要位于西藏自治区班戈县境内,构造位置主要位于北部羌塘地块与南部拉萨地块的结合带上,沿班公湖-怒江缝合带东西向展布古近系陆相残留盆地^[1-4]。伦坡拉盆地古近系始新统牛堡组-渐新统丁青湖组经历了两轮勘

探,发现了多个稠油藏及常规油藏(图1),提交了近 800×10^4 t石油控制储量,但单井测试多为低产,近期研究认为成藏条件、机理及主控因素认识不够制约了早期勘探,利用地质与物探结合的手段,在盆地成藏条件评价基础上,对典型油藏进行解剖,理清了

收稿日期:2014-07-07;修订日期:2015-05-07。

第一作者简介:范小军(1982—),男,工程师,石油地质。E-mail:york111888@126.com。

基金项目:国土资源部油气中心项目(1211302108021-1)。

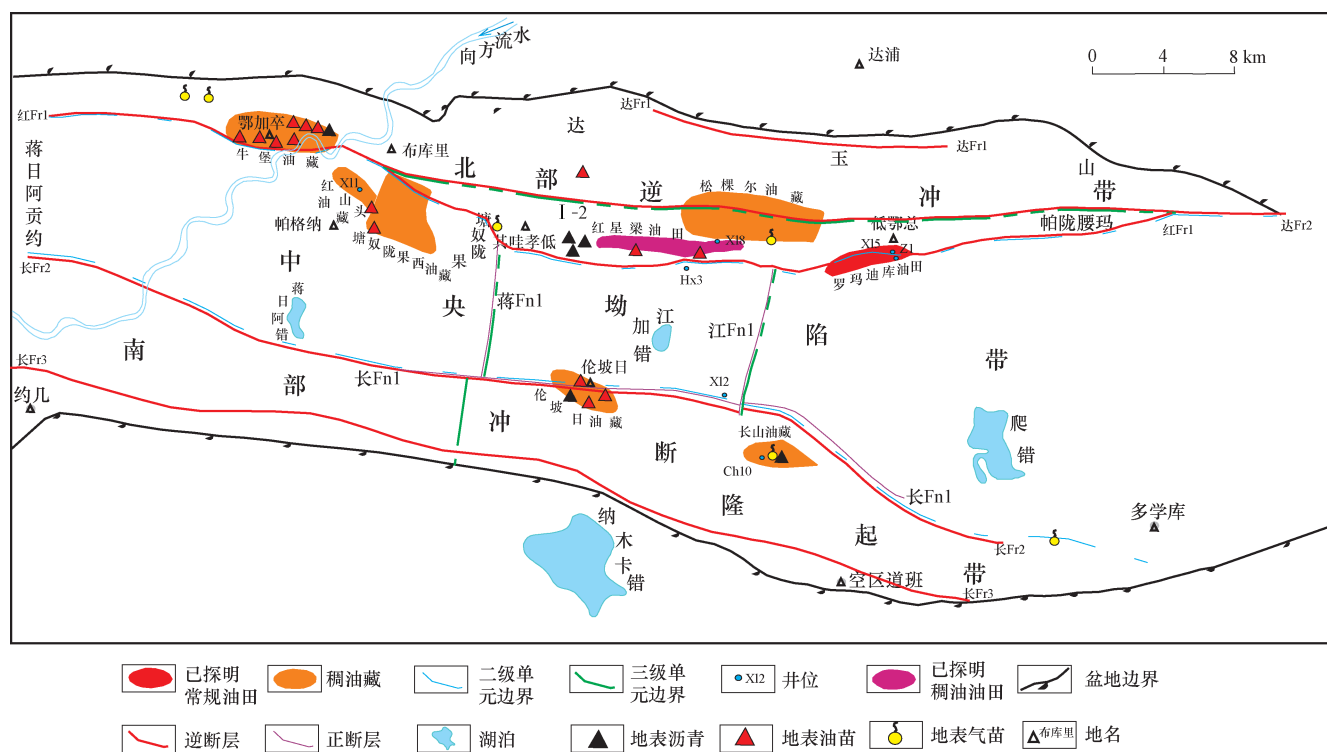


图 1 西藏伦坡拉盆地构造区划

Fig. 1 Structural division of Lunpola Basin in Tibet

成藏机理及明确了成藏主控因素,同时通过“构造勘探”向“岩性勘探”思路转变,评价落实了有利勘探区带,明确了有利勘探方向。

1 成藏条件

1.1 烃源岩

通过烩源岩综合评价指标体系的分析,结合前人研究成果^[5-7],伦坡拉盆地的烩源岩主要分布在中央坳陷带蒋日阿错、江加错、爬错三大生烩凹陷(图1),主力烩源岩为半深湖-深湖相的古近系始新统牛堡组二段(牛二段)及牛三下亚段,渐新统丁青湖组仅底部小部分达到烩源岩标准,有效烩源岩岩性以灰、深灰色泥岩、粉砂质泥岩为主,下部牛一段基本为一套红层,不发育烩源岩,而牛堡组上覆丁青湖组虽然为一套以半深湖-深湖相沉积为主的湖相沉积,但是由于未成熟,大部分无法作为有效烩源岩。按照烩源岩的评价标准来看,牛二、牛三段烩源岩单层厚度达30 m以上,最大有效烩源岩厚度可达1 000 m以上(位于蒋日阿错凹陷);有机碳含量平均可达0.70%,最大可达2.34%,氯仿沥青“A”含量最大可达1.639%,转化率平均可达27.38%,总体丰度达到较好-好烩源岩标准;从干酪根扫描电镜组分看,干酪根类型大部分为Ⅰ型,其次为Ⅱ₁型;从显微组份看,除松棵尔地区丁二段1个样品为Ⅲ型外,其余均Ⅰ型。井下样品中,

大部分干酪根类型定为 I 型,其腐泥质组份(包括菌类藻质体、类脂组、腐泥基质)的含量均超过 90%,两个 II₁ 型样品的腐泥质组份也在 50%左右,生油岩母质类型较好;从成熟度分析,牛二段、牛三段总体处于生油高峰期,为伦坡拉盆地的成藏提供了优质的烃源条件。

1.2 储层

前人研究^[8-12]、钻井、地震等资料综合分析表明,伦坡拉盆地经历了牛堡期断陷、丁青湖期拗陷以及丁青湖期末期以来的3个演化阶段,控制了盆地的充填及沉积分布,其中牛堡组往盆地东部逐渐变薄,缺失牛一段沉积;丁青湖组主要分布于盆地中东部,西部大部分已被剥蚀,地层分布具“跷跷板”特征,盆地总体沉积格局具典型的“斜对称结构”,发育“缓坡扇三角洲、陡坡水下扇”的沉积,根据钻井、地震及地表露头等多方面的资料分析,认为伦坡拉盆地南北部边缘均有沉积物源,盆地西南部蒋日阿错南、东北部达玉山早期发育控盆正断层,主要发育近岸水下扇,在北部钻井的推覆体地层中有所揭示,岩性以灰色砾岩、砂砾岩、中-粗砂岩为主,间夹在厚层的湖泊相泥岩中,孔隙度最大可达到32.6%,储层物性较好,而西北部鄂加卒、东南部长山地区北部斜坡带主要发育扇三角洲体系,如长山地区CH10井、XL2钻井主要钻遇了扇三角洲平原亚相沉积,岩性以灰色、棕色杂砾岩为主,夹灰色粉砂岩、细砂岩、泥岩,物性相对较差,平均孔隙度多小于10%。北部Z1

井钻遇前扇三角洲亚相沉积,岩性以灰色细砂岩、灰色粉砂岩、泥质粉砂岩、泥岩为主,牛堡组储层单层厚度最大可达 9.5 m,测井解释孔隙度最大可达 19% 以上,渗透率最大达 $296.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,该井测试获得低产工业油流。扇三角洲前缘亚相的优质砂体早期钻井未能钻遇。分析认为正南边的长山地区北部斜坡带牛堡组扇三角洲前缘可能发育更为优质的砂岩体储层。

1.3 盖层

对已经完钻的 50 余口钻井资料统计分析表明(表 1),伦坡拉盆地古近系除发育牛二段、牛三段直接盖层外,也发育丁青湖组稳定的区域盖层,该套区域盖层厚度较大,具有一定埋深、可塑性强,是一套连续沉积的泥页岩,泥页岩单层最厚达 52.9 m,累积厚度最大可达 975 m,平面上主要分布于江加错、爬错凹陷之间,次为蒋日阿错凹陷,对牛堡组的油气藏来说是一套良好的区域性封盖层。此外,该套盖层也是油页岩矿产潜在有利层位。

1.4 输导体系

断裂是油气运移的重要通道,盆地在断-拗演化过程中形成了大量的断层及伴生的裂缝,北部逆冲推覆断层带早期发育东西走向的正断层,现今主要发育逆冲推覆断层及派生的小逆冲断层。盆地南部隆起冲断带以逆断层为主,同时派生反冲断层和残留正断层,主体走向北西西。盆地内由于差异性隆升作用的影响形成了一系列张扭性正断层,两条北北东走向的主控断层江 Fn1 断层和蒋 Fn1 断层把中央拗陷明显地分成了蒋日阿错、江加错、爬错三大凹陷,这些大量发育的断层及成岩作用^[13-14]新产生的大量的微裂缝与砂岩储集体一起形成了裂缝加渗透性砂岩体的输导模式,有效地增强了输导效率。

1.5 发育古隆起

据地震资料解释分析认为,伦坡拉盆地东南部长

山地区在隆升前期已经表现为古隆起的性质。伦坡日地区靠近长山,早期可能也处于古隆起边缘,长山地区地层厚度明显较盆地内部薄,且具有丰富的油气苗显示。因此,可以认为长山地区早期已经存在古构造,是油气运移优势指向所在,并且形成过油藏,总体上继承性古隆起有利于油藏的运聚。

1.6 良好的成藏组合与多元化油藏类型

根据伦坡拉盆地构造特征分析,长山地区基底主要是中生界-古生界,基岩以上主要发育古近系牛堡组与丁青湖组,其中丁青湖组多遭受剥蚀。长山古隆起处多出露丁二段,而往北部斜坡带,出露地层主要为丁三段-第四系,保存条件逐渐变好,结合前人对伦坡拉盆地油源的分析^[15],研究认为伦坡拉盆地主要发育三种成藏组样式(图 2):①牛二段自生自储型常规油藏;②牛三段自生自储-下生上储混合型常规油藏;③丁青湖组自生自储型。丁青湖组中下部沉积了一套以湖相沉积为主的油页岩,具典型的源内富集模式。

表 1 西藏伦坡拉盆地古近系牛堡组 - 丁青湖组盖层宏观发育特征
Table 1 Macroscopic characteristics of cap rock in the Paleogene Niubao-Dingqinghu Formation of Lunpola Basin in Tibet

层位	牛二段	牛三段	丁青湖组
岩性	泥岩、页岩	泥岩、页岩	泥岩、页岩
沉积相	浅湖 - 半深湖 - 深湖相	浅湖 - 半深湖 - 深湖相	浅湖 - 半深湖 - 深湖相
最大累计厚度/m	1 258	790	975
最大单层厚度/m	78.0	36.5	52.9
埋深/m	1 600 ~ 3 000	800 ~ 1 600	0 ~ 1 400
形成时期	生油之前	生油之前	主力生油之前
分布	稳定	稳定	较稳定
评价	好	好	较好

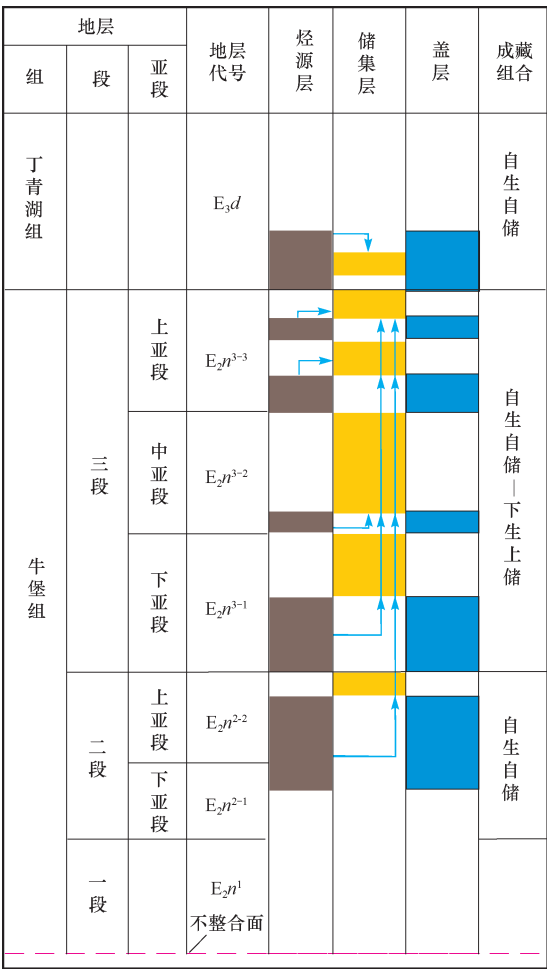


图 2 西藏伦坡拉盆地生、储、盖关系
Fig. 2 Source-reservoir-cap rock assemblage of Lunpola Basin in Tibet

综合伦坡拉盆地的构造格局、构造样式、沉积体系及圈闭发育模式的研究,认为该区可能发育构造、地层、岩性和复合等四大类型圈闭,其中以构造、岩性两类圈闭较发育,各类圈闭适时成藏,形成多元化油藏(图 3)。

2 成藏规律及主控因素

2.1 油藏分布特征

牛堡组 – 丁青湖组油藏纵向分布具有明显的分带

性,中浅层(1 500 m 以上)以低蜡高硫的稠油、重质油为主,中深层(1 500 m 以下)主要为高蜡低硫的正常油藏(表 2),平面上油气藏主要集中在盆地南北部构造圈闭中(图 1),总体油藏具“纵向分带、横向分区”特征。

2.2 成藏期次与关键事件

根据烃源岩成熟度史分析,牛二段烃源岩部分在牛三段末期即开始生烃,大量生烃期为丁青湖组沉积中晚期,牛三下亚段烃源岩在丁青湖组沉积早期开始

成因类型			模式		应力性质及 主控因素	潜在发育位置	潜在层位
			剖面模式	平面模式			
构造圈闭	断层圈闭	断鼻型			拉张	帕格纳地区 蒋日阿错南地区 长山地区 鄂加卒地区	牛堡组
		断块型			挤压推覆	蒋日阿错南地区 达玉山地区	牛堡组 丁青湖组
	背斜圈闭	断背斜型			挤压抬升	帕格纳地区	牛堡组
		披覆背斜型			重力/差异压实	长山南地区	丁青湖组
地层圈闭	地层超覆型				水体渐进	长山南地区	侏罗系 白垩系
	地层不整合遮挡型				不整合面遮挡	长山南地区	侏罗系 白垩系
	断块潜山型				古构造/断层 及不整合面遮挡	长山南地区	侏罗系 白垩系
岩性圈闭	滩坝砂体型				物性封闭	长山地区	牛堡组 丁青湖组
	扇三角洲型				断层遮挡/ 物性封闭	长山地区	牛堡组 丁青湖组
	陡坡扇体型				断层遮挡/ 物性封闭	蒋日阿错南地区 达玉山地区	牛堡组 丁青湖组
复合型圈闭	岩性-构造复合型				断层遮挡/ 物性封闭	帕格纳地区	牛堡组

图 3 西藏伦坡拉盆地圈闭及油藏类型

Fig. 3 Types of traps and reservoirs of Lunpola Basin in Tibet

表2 西藏伦坡拉盆地古近系牛堡组-丁青湖组原油物理性质

Table 2 Physical properties of oil from the Paleogene Niubao-Dingqinghu Formation of Lunpola Basin in Tibet

区带	井名	深度/m	密度/(g·cm ⁻³)	粘度(50℃)/(mm ² ·s ⁻¹)	凝固点/℃	含蜡量/%	含硫量/%
北部逆冲带	HX5 井	丁青湖组	0.944 0	3 180.40	26	5.52	2.24
	HX6 井	丁青湖组	0.921 0	230.50	-2		1.18
	NQ2 井	丁青湖组	0.929 9	66.50	-4	16.62~17.21	1.41~1.51
中央坳陷带	XL1 井	牛堡组	0.921 2	197.60	37.2	8.78	0.86
	XL5 井	牛堡组	0.889 3~0.939 4	1 895.92~2 709.38	38.6~45.0		1.03~1.28
	XL5 井	牛堡组	0.885 2	631.9	31.5		0.15
	HX16 井	牛堡组	0.899 0	144.23(80℃)	29.0	3.29	0.60
	Z1 井	牛堡组	0.891 5	527.90			0.41
	Z1 井	牛堡组	0.877 1	181.73	28.7	8.31	0.68
	Z1 井	牛堡组	0.897 6	165.84	29.0		
	Z1 井	牛堡组	0.875 5	151.67	238.6	7.30	0.76
	Z1 井	牛堡组	0.882 4	53.71	37.5	26.92	0.27
	Z1 井	牛堡组	0.892 9	57.52	33.3	13.86	0.31

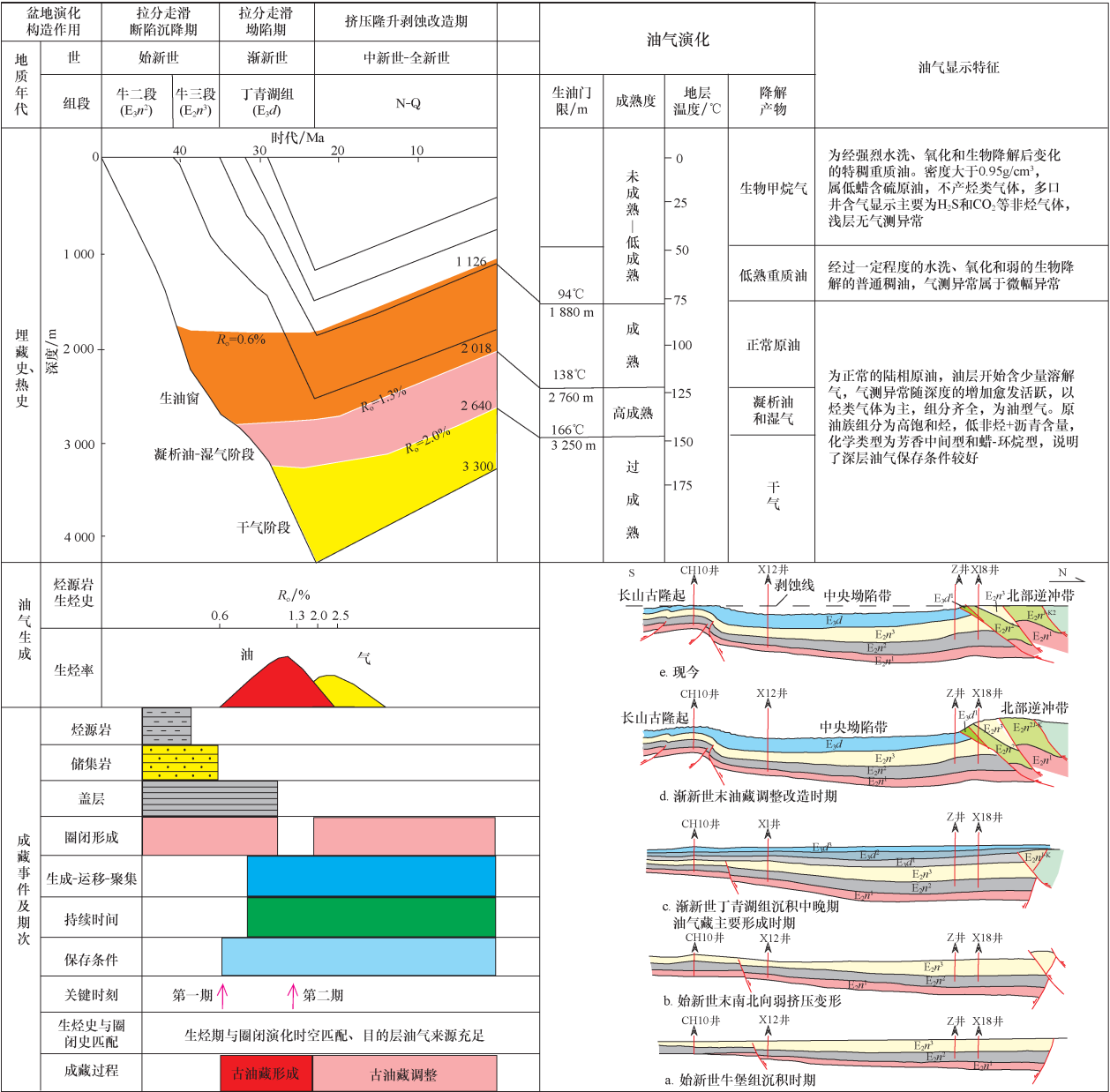


图4 西藏伦坡拉盆地埋藏史、烃源岩热史及构造演化史示意图

Fig. 4 Burial history, thermal history of source rocks and tectonic evolution history of Lunpola Basin in Tibet

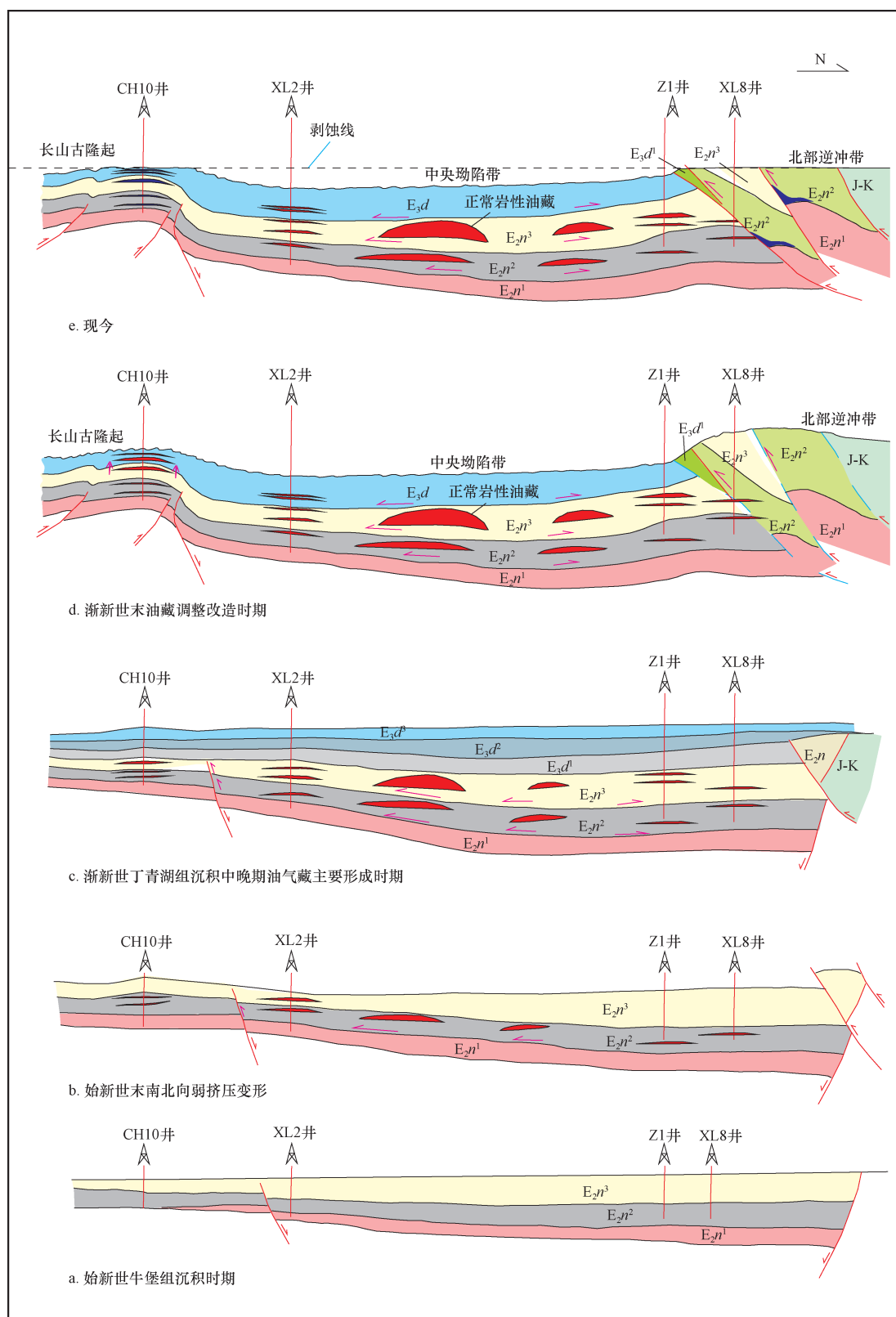


图5 西藏伦坡拉盆地油气成藏模式(东部)

Fig. 5 Hydrocarbon accumulation pattern of eastern Lunpola Basin in Tibet(East)

生烃,大量生烃期为丁青湖组沉积中晚期。油气藏形成存在早、晚两期,渐新世末的区域构造运动为油气成藏提供了区域构造背景(图4)。结合研究区构造演化、圈闭识别评价结果显示^[16],伦坡拉盆地牛堡组主要发育构造圈闭和岩性圈闭两大类,岩性圈闭从牛二

段中晚期就开始形成,而构造圈闭大部分都是在始新世末盆地断-拗转换过程中发展起来的,可见烃源岩生排烃史与圈闭演化史匹配较好,牛二段圈闭可捕获牛二段烃源岩排出的油气,牛三段圈闭可以捕获牛二段、牛三段的混合油气。

2.3 成藏富集模式

在前述研究基础上,结合盆地的构造演化史研究^[17-18],以盆地东部地区南部冲断隆起带长山地区及北部逆冲带红星梁断裂带发现的油藏为例,对伦坡拉盆地的油藏富集规律进行了深入分析,认为牛二段烃源岩始新世末进入生烃门限,油气以裂缝加渗透性岩层的方式向牛二段、牛三段圈闭进行供烃,盆地南部长山地区由于发育继承性古隆起,中央坳陷带生烃凹陷的油气沿着 X12 井与 CH10 井之间的正断层、裂缝、渗透性砂岩体往长山古隆起运移,长山地区斜坡带扇三角洲前缘岩性体除垂向上可以捕获自身牛二段烃源岩生成的油气外,同时也捕获了生烃中心的油气,到丁青湖沉积中晚期,牛三段、牛二段烃源岩均达到生烃高峰,油气仍然可以往南部古隆起运移形成古油藏,而以上两个阶段盆地北部原型盆地期陡岸带圈闭紧邻生烃中心,可就近捕获生烃中心的油气。Z1 井测试获工业油流很好地证实了北部推覆体下部隐伏构造的油气富集规律;渐新世末期受南北挤压应力的影响,南北两带相继逆冲推覆。北部早期生烃凹陷转为推覆带成为新古高点,原型盆地断陷期盆地北部 X18 井区形成的古油藏调整到浅层形成沥青塞,同时盆地南部隆升作用加强形成隆起背斜,该期南部长山地区牛堡组油藏由于冲断褶皱作用(背斜形态仍然完整),牛堡组的油藏沿着微裂缝、不整合面、渗透性岩层向上覆丁青湖组调整运移,而北部 Z1 井地区古油藏仍然位于断裂下盘隐伏构造,未受到破坏得以保存下来。但由于储层发育程度一般,捕获油气的量有限,故测试为低产油水同层;晚中新世以来受青藏高原强烈隆升的影响,伦坡拉盆地进一步全面抬升,受南北逆冲推覆及剥蚀作用的影响,盆地边缘古油藏被进一步调整和破坏,形成油气的散失,同时中浅层的油藏经过一定程度的水洗、氧

化和生物降解形成稠油藏,而中深层早期原生正常油藏保存较好(图 5)。

2.4 成藏主控因素

牛堡组-丁青湖组油藏主要来自牛二段、牛三下亚段烃源岩,已发现的稠油、正常油藏主要分布于凹陷及其周缘的有效砂体圈闭,均在烃源岩的有效供烃范围内,烃源岩是成藏的基础,控制了油气藏的运移方向;储层是成藏的关键,储层的时空展布控制了油藏的分布与规模,而储层发育往往受到岩性的控制;输导体系的发育程度直接影响了油气藏的运聚、调整的效率;构造与成藏的良好匹配是油气藏运聚并得以保存下来的重要保障。总体来看,伦坡拉盆地牛堡组-丁青湖组成藏具有“近源聚集、多期成藏、中浅层晚期破坏、中深层原地富集”成藏富集规律。

3 有利区带

根据评价思路及指标,按照层系对伦坡拉盆地构造沉积条件、烃源岩条件、储层发育情况、保存条件、圈闭发育情况等成藏要素进行评价,同时结合前人研究^[19-20],认为伦坡拉盆地牛堡组成藏条件优越,始新统牛堡组油气成藏组合是伦坡拉盆地勘探潜力最大的一套成藏组合,伦坡拉盆地可划分 I 类有利区、II 类较有利区及 III 类区共计 6 个有利区带(表 3;图 6),面积达上千平方公里。采用有机碳法计算资源量达数亿吨,资源丰度较高。具有形成中型油田的资源潜力,其中长山岩性区带可能发育牛堡组扇三角洲前缘有利相带,东部沾化凹陷沙四段该类储层测井解释孔隙度一般为 10%~15%,渗透率一般为 $0.5 \times 10^{-3} \sim 60 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,部分单井日产可达 10~30 t,故认为该岩性区带为伦坡拉盆地古近系常规油气勘探的最有利区带,区带资源量

表 3 西藏伦坡拉盆地地区带评价
Table 3 Play evaluation of Lunpola Basin in Tibet

区带	构造带	圈闭条件	烃源岩条件	储层条件	盖层及保存条件	已发现油藏	综合评价
长山岩性区带	中央坳陷带	岩性圈闭	爬错凹陷、江加错凹陷,临近生烃中心	扇三角洲前缘细-粗砂岩	丁青湖组泥页岩厚度大		I 类
帕格纳构造-岩性区带	中央坳陷带	构造-岩性圈闭	蒋日阿错凹陷,临近生烃中心	扇三角洲前缘细-粗砂岩	丁青湖组-牛堡组三段泥页岩厚度大	红山头稠油藏、塘奴陇果西稠油藏	II 类
长山南构造区带	南部冲断隆起带	构造圈闭	较差	冲积扇-扇三角洲平原砂砾岩	差	长山、伦坡日丁青湖组稠油藏	III 类
蒋日阿错南构造-岩性区带	南部冲断隆起带	构造-岩性圈闭	蒋日阿错凹陷,临近生烃中心	水下扇砂砾岩	较好		II 类
达玉山构造-岩性区带	北部逆冲带	构造-岩性圈闭	爬错凹陷、江加错凹陷,临近生烃中心	水下扇砂砾岩	较好	红星梁稠油藏、松果尔稠油藏、罗马迪库常规油藏	II 类
鄂加卒构造区带	北部逆冲带	构造圈闭	较差	冲积扇-扇三角洲平原砂砾岩	差	牛堡组稠油藏	III 类

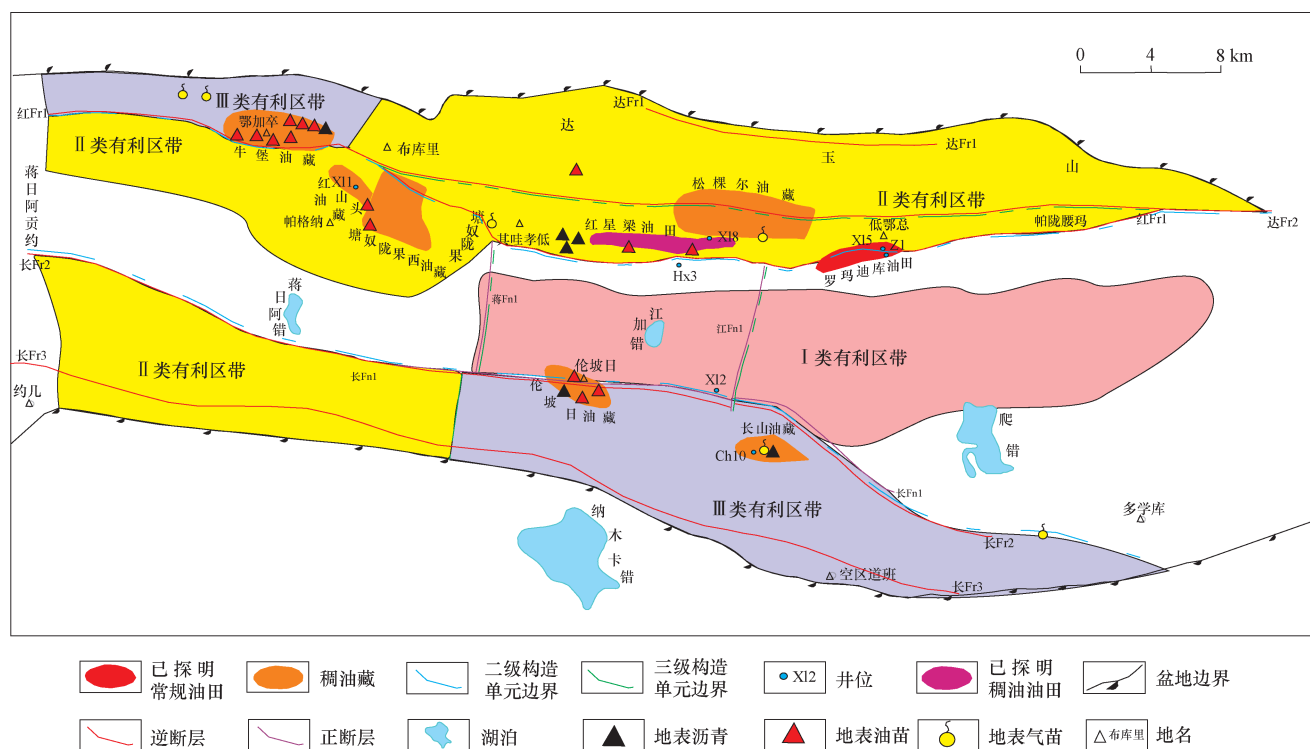


图6 西藏伦坡拉盆地地区带评价

Fig. 6 Play evaluation of Lunpola Basin in Tibet

达上亿吨。此外,该区正好是丁青湖组中下部油页岩发育区,采用体积丰度法计算出其油页岩资源量3倍于常规资源量。故总体上长山岩性区带为常规与非常规有利油气勘探区的叠合部位,勘探前景较好。

4 结论

1) 伦坡拉盆地古近系始新统牛堡组-渐新统丁青湖组成藏条件优越,油藏具“近源聚集、多期成藏、中浅层晚期破坏、中深层原地富集”成藏富集规律,常规勘探主要以寻找中深层的正常油藏为勘探目标。

2) 评价落实了6个有利勘探区带,资源量达数亿吨,资源丰度较高,具有形成中型油田的资源潜力,长山岩性区带为常规与非常规有利油气勘探区的叠合部位,勘探前景较好。

参考文献

- [1] 林松. 西藏伦坡拉盆地物源区与沉降史研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2012.
Lin song. Provenance and subsidence analysis for Lunpola Basin in Central Tibet[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2012.
- [2] 马鹏飞, 王立成, 冉波. 青藏高原中部新生代伦坡拉盆地沉降史分析[J]. 岩石学报, 2013, 29(3): 990-1002.
Ma Pengfei, Wang Licheng, Ran Bo. Subsidence analysis of the Cenozoic Lunpola Basin, central Qinghai-Tibetan Plateau[J]. Acta Petrologica Sinica, 2013, 29(3): 990-1002.
- [3] 赵建成. 西藏伦坡拉盆地构造特征研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2011.

- Zhao Jiancheng. A study on the structural characters of the Lunpola basin in Tibet[D]. Chendu: Chendu University of Technology, 2011.
- [4] 雷清亮, 付孝悦, 卢亚平. 伦坡拉第三纪陆相盆地油气地质特征分析[J]. 中国地质大学学报, 1996, 21(2): 168-173.
Lei Qingliang, Fu Xiaoyue, Lu Yaping. Petroleum geological features of tertiary terrestrial Lunpola Basin, Xizang (Tibet) [J]. Journal of China University of Geosciences, 1996, 21(2): 168-173.
- [5] 顾忆, 邵志兵, 叶德燎, 等. 西藏伦坡拉盆地烃源岩特征及资源条件[J]. 石油实验地质, 1999, 21(4): 341-345.
Gu Yi, Shao Zhibing, Ye Deliao, et al. Characteristics of source rocks and resource prospect in the Lunpola Basin, Tibet[J]. Experimental Petroleum Geology, 1999, 21(4): 341-345.
- [6] 袁彩萍, 徐思煌. 西藏伦坡拉盆地地温场特征及烃源岩热演化史[J]. 石油实验地质, 2000, 22(2): 156-160.
Yuan Caiping, Xu Sihuang. Characteristics of geotemperature field and maturity history of sources rocks in Lunpola Basin, Xizang (Tibet) [J]. Experimental Petroleum Geology, 2000, 22(2): 156-160.
- [7] 徐思煌, 梅廉夫, 邓四新. 西藏伦坡拉盆地烃源岩生、排烃史模拟[J]. 中国地质大学学报, 1996, 21(2): 179-183.
Xu Sihuang, Mei Lianfu, Deng Sixin. Simulation of hydrocarbon generation and expulsion history in Lunpola Basin of Xizang (Tibet) [J]. Journal of China University of Geosciences, 1996, 21(2): 179-183.
- [8] 宋博文, 张克信, 梁银平, 等. 青藏高原原始新世构造岩相古地理[J]. 地质通报, 2013, 32(1): 56-66.
Song Bowen, Zhang Kexin, Liang Yiping, et al. Eocene tectonic lithofacies paleo-geography of the Tibetan Plateau [J]. Geological Bulletin of China, 2013, 32(1): 56-66.
- [9] 孙涛, 王成善, 李亚林, 等. 西藏中部伦坡拉盆地古近系沉积有机质特征及意义[J]. 地球化学, 2012, 41(6): 530-537.
Sun Tao, Wang Chengshan, Li Yalin, et al. Characteristics and significance of sedimentary organic matter in the Paleogene of Lunpola basin, central Tibet [J]. Geochimica, 2012, 41(6): 530-537.

(下转第377页)

- bution characteristics and the formation mechanism of the biogenic gas in the Sebei No. 1 reservoir, the Qaidam Basin[J]. *Scientia Sinica (Earth Sciences)*, 2007, 37(1): 46–51.
- [14] 廖凤蓉, 吴小奇, 黄士鹏, 等. 川西北地区中坝气田雷口坡组天然气地球化学特征及气源探讨[J]. *天然气地球科学*, 2013, 24(1): 108–115.
- Liao Fengrong, Wu Xiaoqi, Huang Shipeng, et al. Geochemical characteristics and gas source correlation of Leikoupo Formation in Zhongba field, northwest Sichuan basin[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2013, 24(1): 108–115.
- [15] 刘文汇, 徐永昌. 论生物-热催化过渡带气[J]. *石油勘探与开发*, 2005, 32(4): 30–36.
- Liu Wenhui, Xu Yongchang. Bio-thermocatalytic transitional zone gases[J]. *Petroleum exploration and development*, 2005, 32(4): 30–36.
- [16] 何家雄, 陈伟煌, 李明兴. 莺-琼盆地天然气成因类型及气源剖析[J]. *中国海上油气(地质)*, 2000, 14(6): 398–405.
- He Jiaxiong, Chen Weihuang, Li Mingxing. Genetic types of natural gas and source rocks in Ying-qiong basin[J]. *China offshore oil and gas (geology)*, 2000, 14(6): 398–405.
- [17] 戴金星, 戚厚发, 宋岩, 等. 我国煤层气组份、碳同位素类型及其成因和意义[J]. *中国科学 B 辑(化学)*, 1986, 16(12): 1317–1326.
- Dai Jinxing, Qi Houfa, Song Yan, et al. China's coalbed gas composition, carbon isotope types and its causes and significance[J]. *SCIEN-TIA SINICA Chimica*, 1986, 16(12): 1317–1326.
- [18] 戴金星. 各类烷烃气的鉴别[J]. *中国科学 B 辑(化学)*, 1992, 22(2): 1317–1326.
- Dai Jinxing. Identification of various alkane gases[J]. *Scientia Sinica (Chimica)*, 1992, 22(2): 1317–1326.
- [19] 沈平, 徐永昌. 中国陆相成因天然气同位素组成特征[J]. *地球化学*, 1991, (2): 144–152.
- Shen Ping, Xu Yongchang. The isotopic composition of natural gases from continental sediments in China[J]. *Geochimica*, 1991, (2): 144–152.
- [20] 邹才能, 赵文智, 龙道江. 吐鲁番盆地侏罗系煤系原油的基本性质及油源对比[J]. *石油学报*, 1993, 14(1): 25–33.
- Zou Caineng, Zhao Wenzhi, Long Daojiang. The basic features of crude oil from Jurassic coal-bearing formations in Turfan Basin and the correlation study between oil and source rocks[J]. *Acta Perolei Sinica*, 1993, 14(1): 25–33.
- [21] 孙林, 李剑锋, 姬鹏程, 等. 鄂尔多斯盆地西缘上古生界泥岩饱和烃 Pr/Ph 值特征及其地质应用[J]. *天然气地球科学*, 2012, 23(6): 1116–1120.
- Sun Lin, Li Jianfeng, Ji Pengcheng, et al. Pr/Ph value of saturated hydrocarbon from the Upper Paleozoic mudstone in western Ordos Basin and its applications[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2012, 23(6): 1116–1120.
- [22] 戴金星. 天然气碳氢同位素特征和各类天然气鉴别. *天然气地球科学*, 1993, 4(2–3): 1–40.
- Dai Jinxing. Carbon isotope characteristics and the identification of various natural gas. *Natural Gas Geoscience*, 1993, 4(2–3): 1–40.

(编辑 张玉银)

(上接第 369 页)

- [10] 张克信, 王国灿, 季军良, 等. 青藏高原古近纪-新近纪地层分区与序列及其对隆升的响应[J]. *中国科学*, 2010, 40(12): 1271–1294.
- Zhang Kexin, Wang Guocan, Ji Junliang, et al. Paleogene-Neogene stratigraphic realm and sedimentary sequence of the Qinghai-Tibet Plateau and their response to uplift of the plateau[J]. *Science China*, 2010, 40(12): 1271–1294.
- [11] 杜佰伟, 谭富文, 陈明. 西藏伦坡拉盆地沉积特征分析及油气地质分析[J]. *沉积与特提斯地质*, 2004, 24(4): 46–54.
- Du Baiwei, Tan Fuwen, Chen Ming. Sedimentary features and petroleum geology of the Lunpola Basin, Xizang[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2004, 24(4): 46–54.
- [12] 罗宇, 朱宏权, 艾华国, 等. 西藏伦坡拉盆地地下第三系储集层类型与特征[J]. *石油勘探与开发*, 1999, 26(2): 35–37.
- Luo Yu, Zhu Hongquan, Ai Huaguo, et al. Type and feature of Lower Tertiary reservoirs in Lunpola basin. [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 1999, 26(2): 35–37.
- [13] 艾华国, 朱宏权, 张克银, 等. 伦坡拉盆地地下第三系储层的成岩作用和储集性能的成岩控因[J]. *沉积学报*, 1999, 17(1): 100–105.
- Ai Huaguo, Zhu Hongquan, Zhang Keyin, et al. The diagenetic controlling-factors of reservoir property and diageneses of reservoir of Lower-Tertiary in Lunpola Basin, Tibet[J]. *Acta Sedimentological Sinica*, 1999, 17(1): 100–105.
- [14] 艾华国, 兰林英, 朱宏权, 等. 伦坡拉盆地地下第三系储集层成岩作用和孔隙演化[J]. *石油勘探与开发*, 1998, 25(6): 12–15.
- Ai Huaguo, Lan Linying, Zhu Hongquan, et al. The diagenesis and porosity evolution of the Lower Tertiary system in Lunpola basin, Tibet. [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 1998, 25(6): 12–15.
- [15] 张克银, 牟泽辉, 朱宏权, 等. 西藏伦坡拉盆地成藏动力学系统分析[J]. *新疆石油地质*, 2000, 21(2): 93–96.
- Zhang Keyin, Mu Zehui, Zhu Hongquan, et al. Analysis of the dynamic system for forming reservoirs in Lunpola Basin(Tibet)[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2000, 21(2): 93–96.
- [16] 孙涛. 西藏伦坡拉盆地古近系层序地层学及岩性圈闭研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2013.
- Sun Tao. Sequence stratigraphy and lithologic trap predication in Lunpola Basin, Tibet[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2013.
- [17] 吴珍汉, 胡道功, 叶培盛, 等. 青藏高原中段古近纪早期古构造演化[J]. *地球学报*, 2009, 30(6): 749–760.
- Wu Zhenhan, Hu Daogong, Ye Peisheng, et al. Paleocene-Eocene tectonic evolution in Central Tibetan Plateau[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2009, 30(6): 749–760.
- [18] 徐正余, 饶克敏, 连玉秋. 西藏伦坡拉地区的大地构造属性与构造演化[J]. *中国区域地质*, 1983, (3): 90–98.
- Xu Zhengyu, Rao Kemin, Lian Yuqiu. Geotectonic attributes and tectonic evolution of the Lunpola aree, Xizang(Tibet)[J]. *Regional Geology of China*, 1983, (3): 90–98.
- [19] 张大伟. 西藏地区油气资源潜力与战略选区[J]. *中国矿业*, 2011, 20(3): 1–5.
- Zhang Dawei. Potential of hydrocarbon resources and strategic research in Tibet area[J]. *China Mining Magazine*, 2011, 20(3): 1–5.
- [20] 邓虎成, 周文, 丘东洲. 西藏伦坡拉盆地油砂资源潜力分析[J]. *桂林工学院学报*, 2008, 28(2): 167–173.
- Deng Hucheng, Zhou Wen, Qiu Dongzhou. Oil sand resource latent capacity in Lunpola Basin, Tibet[J]. *Journal of Guilin University of Technology*, 2008, 28(2): 167–173.

(编辑 张亚雄)